

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3h30** – COEFFICIENT : **6**

L'usage des calculatrices est autorisé

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci et les feuilles annexes relatives aux **exercices I et III, à rendre avec la copie**, numérotées **8/10 à 10/10**.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice n°I : CHIMIE : Comme un poisson dans l'eau (8 points)

Exercice n°II : PHYSIQUE : Un peu d'histoire des sciences (7 points)

Exercice n°III : PHYSIQUE : Vérification des caractéristiques d'une bobine réelle (5 points)



ATTENTION :

- Le candidat devra utiliser une copie différente pour chacun des trois exercices.
- Les annexes relatives aux exercices I et III seront placées dans les copies correspondantes.

EXERCICE I. COMME UN POISSON DANS L'EAU (8 points)

L'aquariophilie est une passion qui touche de plus en plus d'amateurs mais aussi de néophytes. De nombreux facteurs peuvent contribuer à un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau.

Le pH de l'eau est la première grandeur qu'il faut mesurer, au moins une fois par semaine, et ajuster éventuellement. En effet, certains poissons ne peuvent évoluer que dans un milieu acide (c'est le cas des poissons d'Amazonie comme les Néons ou les Tétras), d'autres dans un milieu basique (c'est le cas des poissons d'Amérique Centrale comme les Platy et les Molly). Aucun de ces poissons ne tolère une trop forte teneur en ions ammonium (NH_4^+) ou en ions nitrite (NO_2^-) : le cycle de l'azote doit donc être surveillé en évitant soigneusement la surpopulation de l'aquarium et l'excès de nourriture.

D'après "Poissons et aquariums" - Édition Larousse

L'exercice suivant est destiné à préciser certains points de ce texte. On étudie d'abord un produit commercial utilisé pour diminuer le pH de l'eau de l'aquarium ; on s'intéresse ensuite à la formation des ions ammonium.

1. Étude d'une solution commerciale destinée à diminuer le pH de l'aquarium

Sur l'étiquette du produit on peut lire que la solution commerciale S_0 est constituée d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-(\text{aq})$) mais aucune concentration n'est indiquée. La transformation conduisant à l'acide chlorhydrique étant totale, la concentration c_0 de la solution commerciale est égale à la concentration en ions H_3O^+ . On cherche à déterminer cette concentration en faisant un titrage pH-métrique. Pour cela on dilue 50 fois la solution commerciale et on procède au titrage d'un volume $V_A = 20,0 \text{ mL}$ de la solution diluée S_A à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium S_B ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On obtient la courbe de la **figure 1**. On a également fait apparaître la courbe représentant la dérivée du pH en fonction du volume de soude versé.

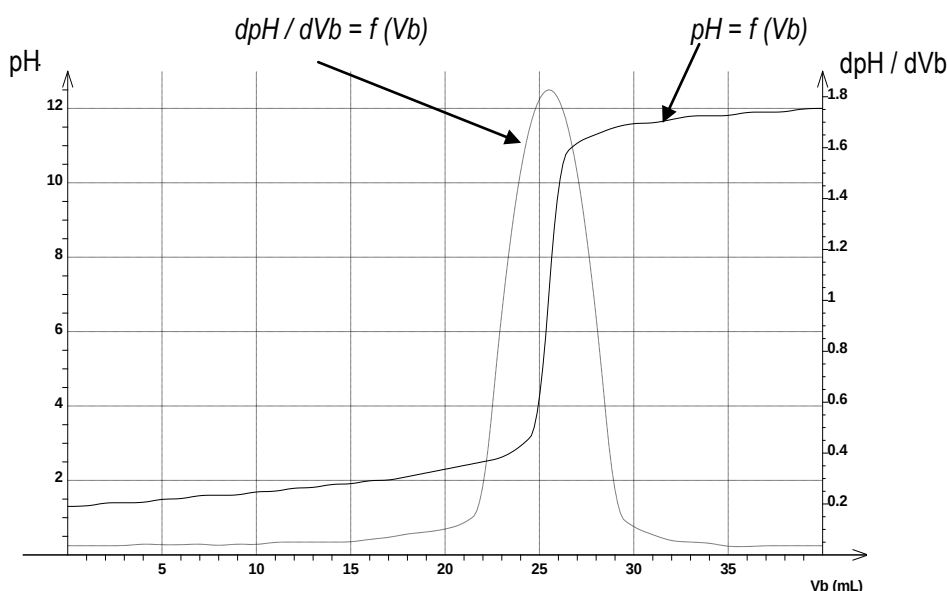


Figure 1 : Titrage de la solution commerciale diluée par la soude

1.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

1.2. Équivalence

1.2.1. Définir l'équivalence.

1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée S_A .

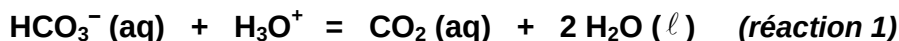
1.2.3. Montrer que dans la solution commerciale, la concentration des ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ est voisine de $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$. Cette valeur sera utilisée pour la suite de l'exercice.

1.3. On désire diminuer le pH de l'eau de l'aquarium et l'amener à une valeur proche de 6 alors qu'il était initialement égal à 7. Sur le mode d'emploi du fabricant on peut lire qu'il faut verser, en une fois, 20 mL de la solution commerciale dans 100 L d'eau. Pour simplifier le calcul, on considérera que le volume final reste égal à 100 L.

Quelle serait la valeur du pH final de l'eau de l'aquarium s'il n'y avait qu'une simple dilution des ions H_3O^+ ?

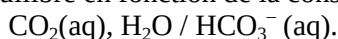
1.4. L'eau étant toujours plus ou moins calcaire, elle contient des ions hydrogénocarbonate ($\text{HCO}_3^-(\text{aq})$) dont il faut tenir compte. Les ions H_3O^+ introduits vont, en effet, réagir avec ces ions.

L'équation associée à la réaction considérée est la suivante :



1.4.1. Donner l'expression de la constante d'équilibre K_1 associée à l'équation de la réaction 1 en fonction des concentrations des différentes espèces chimiques présentes.

1.4.2. Exprimer cette constante d'équilibre en fonction de la constante d'acidité K_A du couple :



Déterminer sa valeur numérique.

Donnée : $\text{p}K_A = 6,4$

1.5. L'eau utilisée pour l'aquarium est très calcaire. Dans cette eau, les concentrations molaires initiales des espèces mises en jeu dans la réaction 1 sont telles que le quotient de réaction initial de cette réaction vaut :

$Q_{r,i} = 5,0$.

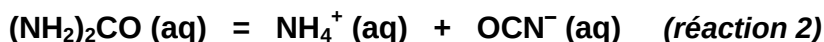
1.5.1. En utilisant le critère d'évolution spontanée, montrer que des ions H_3O^+ sont consommés si l'eau est calcaire.

1.5.2. Le pH final sera-t-il supérieur, égal ou inférieur au pH calculé à la question 1.3. ?

1.5.3. Dans la notice du fabricant on trouve la phrase suivante : "Assurez-vous par des tests réguliers que votre eau est suffisamment calcaire car sinon il pourrait y avoir des risques de chutes acides". Expliquer.

2. Étude de la formation des ions ammonium.

L'urée, de formule $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, est un polluant de l'aquarium. Elle est contenue dans les déjections de certains poissons et conduit, au cours d'une réaction lente, à la formation d'ions ammonium NH_4^+ et d'ions cyanate OCN^- selon l'équation :



L'étude de la cinétique de cette réaction 2 peut être réalisée par conductimétrie. Pour cela on prépare un volume $V = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à $c = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$ et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à 45°C . À différentes dates, on mesure la conductivité de la solution.

La conductivité σ de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions H_3O^+ et $\text{HO}^-(\text{aq})$ sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :

$$\sigma = \lambda_{\text{NH}_4^+} \cdot [\text{NH}_4^+]_{\text{eq}} + \lambda_{\text{OCN}^-} \cdot [\text{OCN}^-]_{\text{eq}}$$

2.1. Montrer que la concentration de la solution en ions $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ peut être déterminée à partir de la mesure de la conductivité de la solution, les conductivités molaires ioniques étant connues.

2.2. Évolution du système chimique

2.2.1. Compléter littéralement le tableau descriptif de l'évolution du système, figurant **EN ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

2.2.2. En déduire la relation, à chaque instant, entre la concentration en ions $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ en solution et l'avancement de la réaction.

2.2.3. Calculer l'avancement maximal x_{max} .

2.3. On peut ainsi représenter l'évolution de l'avancement de la réaction en fonction du temps (voir **figure 2 EN ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**).

En déduire le taux d'avancement de la réaction à l'instant de date $t = 110$ min.

2.4. La vitesse volumique de réaction est donnée par la relation : $v(t) = \frac{1}{V} \left(\frac{dx}{dt} \right)$ où x est l'avancement de la réaction à l'instant de date t et V le volume de la solution.

Décrire, en utilisant la courbe précédente, l'évolution de cette vitesse.

2.5. En poursuivant l'expérience pendant une durée suffisante, on obtient une concentration finale : $[\text{NH}_4^+]_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

Déterminer le taux d'avancement final de cette transformation. Cette transformation est-elle totale ?

2.6. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

2.7. Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de 27°C . Tracer sur la **figure 2 EN ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'allure de la courbe précédente à cette température.

2.8. Les ions ammonium finissent par se transformer en ions nitrate dont l'accumulation risque de compromettre la vie des poissons. Ces derniers ions constituent un aliment essentiel pour les plantes vertes de l'aquarium. Expliquer pourquoi dans les livres d'aquariophilie, on dit que l'aquarium doit être "bien planté".

EXERCICE II. UN PEU D'HISTOIRE DES SCIENCES. (7 points)

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes. Les données se trouvent en fin d'exercice.

Partie 1.

Henri Becquerel , Pierre et Marie Curie reçurent le prix Nobel de Physique en 1903 pour avoir découvert la radioactivité .

1.1. Parmi les termes suivants : *provoqué, inéluctable, limité, aléatoire, instantané, spontané, en chaîne, accéléré par une augmentation de la température*, quels sont ceux qui peuvent qualifier le phénomène de radioactivité ?

1.2. Rappeler les lois de conservation au cours des réactions nucléaires.

1.3. Le noyau de polonium ^{218}Po est à la fois émetteur α et β^- . Écrire les deux équations de désintégration.

1.4. Le radium ^{226}Ra est émetteur α . Identifier le noyau-fils, écrire l'équation et calculer l'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau de radium.

Partie 2.

Dans les années 1931-1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie étudièrent le rayonnement du polonium. Ils fabriquèrent des sources très intenses de polonium 210 d'activité $7,2 \cdot 10^9$ becquerels, concentrées sur des petites surfaces (20 mm^2). La demi-vie de ce radionucléide est de 138 jours.

2.1. Pourquoi devaient-ils renouveler souvent ces sources ?

2.2. Quelle est l'activité d'une telle source au bout de 3 ans ?

2.3. Calculer la constante radioactive du polonium 210.

2.4. Rappeler la relation liant à la date t , activité A et nombre de noyaux N d'une source radioactive.

2.5. Calculer la masse initiale de polonium 210 dans une source.

Partie 3.

Les Joliot-Curie ratèrent de peu la découverte du neutron mais ils découvrirent la radioactivité artificielle en 1934. Après avoir placé quelques minutes une feuille d'aluminium (de nombre de masse $A = 27$) contre une source de polonium (émetteur α), un compteur Geiger Müller leur indiqua que la feuille d'aluminium était devenue radioactive.

Les noyaux d'aluminium Al bombardés par des particules α donnent naissance à des noyaux de phosphore ^{30}P , radioactifs.

Le phosphore ^{30}P , radionucléide artificiel (c'est-à-dire qui n'existe pas dans la nature), est émetteur β^+ . En écrivant l'équation de désintégration, identifier son noyau fils.

Partie 4.

La fission entra brusquement dans le monde de la physique et dans l'histoire en 1938 lorsqu'elle fut découverte par Hahn et Strassmann, à la veille d'un conflit mondial qui allait vigoureusement stimuler son étude et lui faire jouer un rôle de plus en plus important, du moins jusqu'à son dénouement en 1945. L'uranium 235 est fissile sous l'impact d'un neutron lent qu'il capture.

4.1. Énergie de liaison par nucléon.

4.1.1. Calculer le défaut de masse du noyau d'uranium 235

4.1.2. En déduire l'énergie de liaison du noyau d'uranium 235 puis l'énergie de liaison par nucléon.

4.2. Une des fissions possibles est la suivante : ${}_0^1n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{38}^{94}Sr + {}_{54}^AXe + 2{}_0^1n$

4.2.1. Compléter l'équation de la réaction nucléaire

4.2.2. Expliquer pourquoi la réaction de fission s'auto entretient. Quel qualificatif lui donne-t-on ?

4.2.3. Calculer l'énergie libérée par cette réaction de fission (en MeV et en J), en présentant un diagramme énergétique dans lequel on fera figurer l'énergie du système avant et après réaction, ainsi que l'énergie des nucléons séparés.

4.2.4. Un des noyaux formés se désexcite en émettant un rayonnement γ de fréquence $\nu = 1,6 \cdot 10^{24}$ Hz.

A quelle longueur d'onde λ dans le vide ce rayonnement correspond-il ?

Données :

Z	12	13	14	15	16	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
élément	Mg	Al	Si	P	S	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U

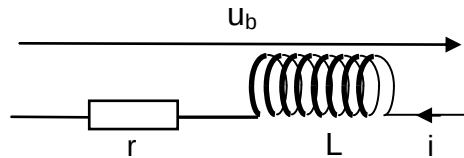
- $m({}^{226}Ra) = 225,9770 \text{ u}$; $m({}^{222}Rn) = 221,9702 \text{ u}$;
 $m({}^{235}U) = 234,99351 \text{ u}$; $m({}^{210}Po) = 210,0482 \text{ u}$
 $m(\alpha) = 4,0015 \text{ u}$; $m(n) = 1,008665 \text{ u}$; $m(p) = 1,007276 \text{ u}$;
- $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $1 \text{ u} = 931,494 \text{ MeV}/c^2$;
- $1 \text{ MeV} = 1,6022 \cdot 10^{-13} \text{ J}$; célérité de la lumière: $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- constante d'Avogadro: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- énergie moyenne de liaison par nucléon : - uranium ${}_{92}^{235}U$: 7,59 MeV/nucléon ;
- strontium ${}_{38}^{94}Sr$: 8,59 MeV/nucléon ; - xénon ${}_{54}^{140}Xe$: 8,29 MeV/nucléon

EXERCICE III. VÉRIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES D'UNE BOBINE RÉELLE (5 points)

Dans tout l'exercice, on tiendra compte de la précision des données afin d'exprimer les résultats numériques en accord avec cette précision.

Un étudiant, curieux, veut vérifier la valeur de la résistance r d'une bobine réelle d'inductance 250 mH, modélisée sous forme d'un dipôle (r , L) en série. La tension en fonction du temps dans le cas général d'un courant électrique d'intensité $i(t)$ aux bornes d'une telle bobine est donnée par la relation :

$$u_b = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$



Il dispose de tout le matériel souhaitable et procède à plusieurs essais.

Partie A : Vérification de R.

1. En régime permanent.

Pour mesurer la valeur de r , l'étudiant réalise un circuit comportant un générateur de tension continue de valeur $E = 6,00$ V de résistance interne négligeable, un ampèremètre numérique, un voltmètre numérique, des fils de connexion et la bobine à étudier.

1.1. Compléter le **schéma 1 (EN ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE)** du circuit en indiquant les positions de l'ampèremètre et du voltmètre. Faire figurer la tension $u_g = E$ (tension aux bornes du générateur) ainsi que la tension u_b (tension aux bornes de la bobine). On négligera la tension aux bornes de l'ampèremètre.

1. 2. Les mesures des appareils donnent $U_b = 5,95$ V et $I_b = 410$ mA. En déduire la valeur r_1 de la résistance de la bobine dans ce cas particulier. Justifiez votre démarche.

2. En régime transitoire.

L'étudiant modifie le montage précédent auquel il ajoute une résistance $R' = 10,0 \Omega$ en série.

Il remplace les appareils de mesure par un système d'acquisition informatisé qui lui donne les variations de $i(t)$ obtenues à la fermeture de l'interrupteur. La tension du générateur reste fixe et égale à 6,00 V.

2.1. Quel est alors le phénomène observé dans le circuit ?

2.2. Sur le schéma 2 du circuit modifié (**EN ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**), indiquer comment brancher le système d'acquisition (voie d'entrée et voie de référence) afin d'obtenir une tension proportionnelle à l'intensité du courant dans le circuit. Justifier votre réponse.

2.3. Déterminer la valeur de la constante de temps τ à partir du document obtenu par le système d'acquisition. Détailler clairement la méthode utilisée sur le graphe 3 donné en **EN ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

2.4. La valeur de τ de ce circuit est égale au rapport $\frac{L}{R}$ où R représente la résistance électrique totale du circuit.

2.4.1. Donner l'expression littérale de τ en fonction des paramètres du circuit et vérifier par une analyse dimensionnelle que τ est homogène à un temps.

2.4.2. La bobine ayant une inductance $L = 250$ mH, déduire la valeur r_2 de sa résistance.

2.5. On considère que l'intensité $i(t)$ atteint la valeur limite $I_\infty = 240 \text{ mA}$ au bout d'une durée 5 fois supérieure à τ .

2.5.1. Quel est alors le régime de fonctionnement de la bobine ?

2.5.2. Exprimer r , résistance de la bobine en fonction de E , I_∞ et R' . Calculer sa valeur r_3 .

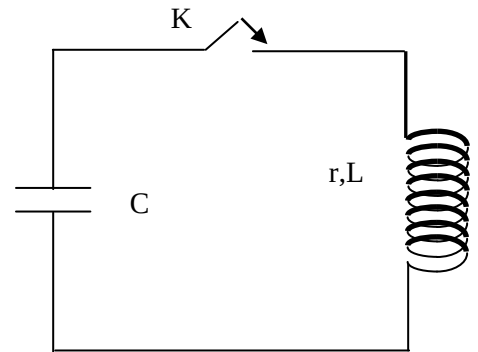
2.6. Les trois valeurs r obtenues dans les parties A et B sont-elles cohérentes entre elles ?

Partie B : Vérification de L

3. En régime oscillatoire.

Cette bobine est branchée aux bornes d'un condensateur de capacité $C = 4,0 \text{ } \mu\text{F}$ préalablement chargé par un circuit annexe non représenté, selon le schéma ci-contre :

On étudie les variations de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps : on obtient la courbe graphe 4.



3.1. Période des oscillations.

3.1.1. Rappeler l'expression littérale de la période propre T_0 d'un oscillateur LC.

3.1.2. Déterminer graphiquement la valeur de cette période en précisant la méthode utilisée sur le graphe 4 (EN ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE).

3.2. En déduire la valeur de l'inductance de la bobine. Cette valeur correspond-elle à la valeur attendue ?

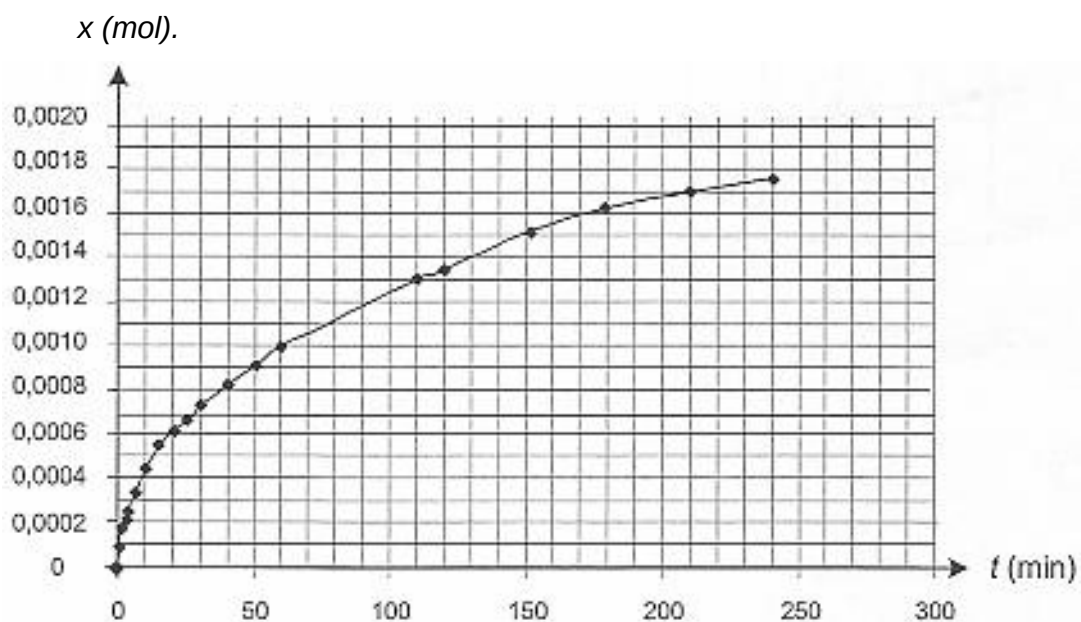
3.3. Pourquoi les oscillations sont-elles amorties ?

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE DE CHIMIE

Tableau d'évolution du système chimique

	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq}) = \text{NH}_4^+ (\text{aq}) + \text{OCN}^- (\text{aq})$			
État	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)		
		$(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq})$	$\text{NH}_4^+ (\text{aq})$	$\text{OCN}^- (\text{aq})$
État initial	$x = 0$			
État en cours d'évolution	x			
État final en supposant la transformation totale	x_{max}			

Figure 2 : Cinétique de la décomposition de l'urée.



ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE DE L'EXERCICE III

Schéma 1.

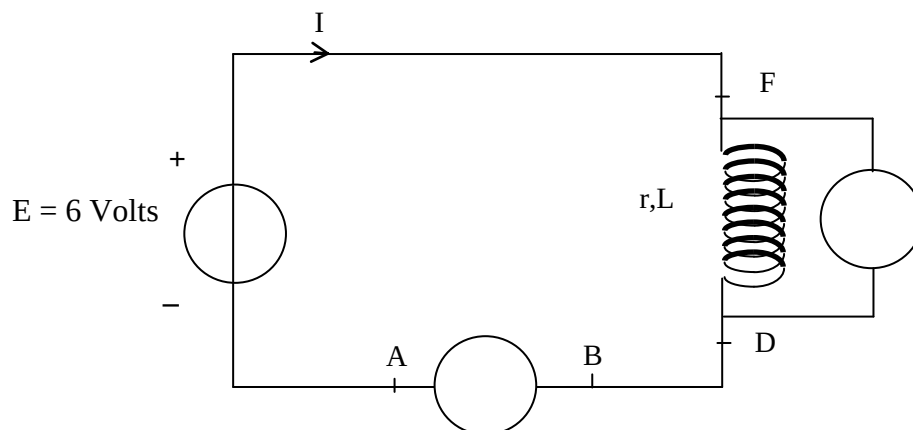
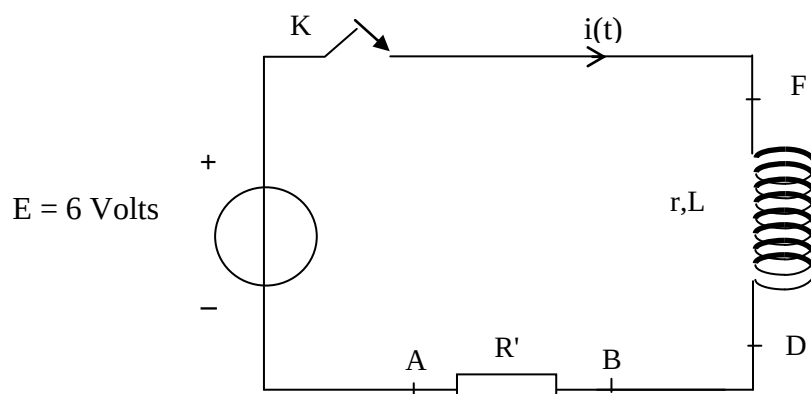
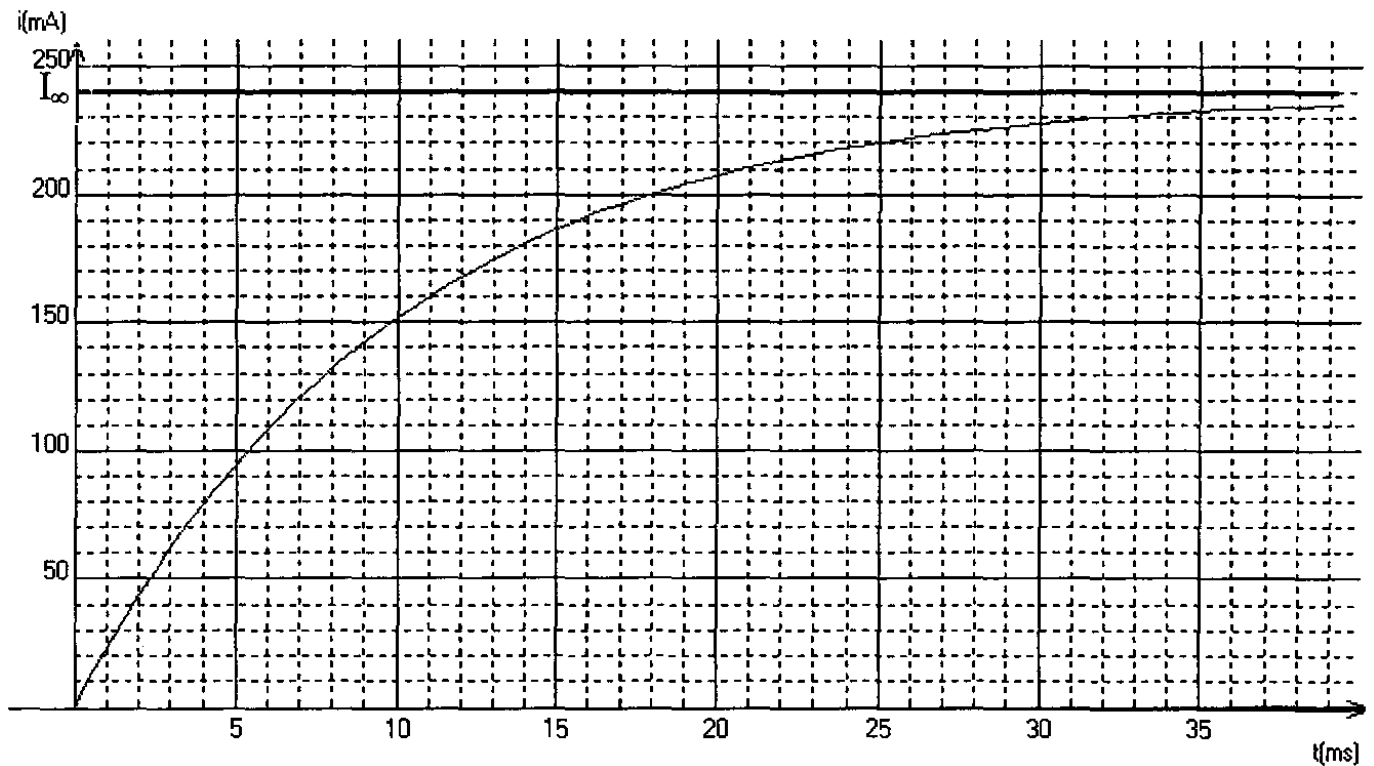


Schéma 2.



ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE DE L'EXERCICE III

Graphe 3 : Résultat de l'acquisition donné par le système informatisé : $i(t)$ en mA, t en ms.



Graphe 4

